

**PENGARUH KOMPOSISI ARAH LAPISAN TERHADAP
SIFAT PAPAN BAMBU KOMPOSIT**
*(Effect of Layer Orientation Composition on the Properties of
Bamboo Composites Lumber)*

**I.M. Sulastiningsih¹⁾, Surdiding Ruhendi²⁾, Muh. Yusram Massijaya²⁾,
Wayan Darmawan²⁾ & Adi Santoso³⁾**

¹⁾Mahasiswa Pascasarjana (S-3) Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

²⁾Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

³⁾Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan

Jl. Gunung Batu 5, Bogor

e-mail: tsulastiningsih@yahoo.co.id

Diterima 18 Juni 2014, Disetujui 16 Juli 2014

ABSTRACT

*The objective of this study was to determine the effect of layer orientation composition on the properties of bamboo composite lumber (BCL). Bamboo strips for BCL fabrication were prepared from mature culms (± 4 years old) of andong bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) collected from private gardens in West Java. The strips were pre-treated by soaking it in 7% boron solution for 2 hours. Five-layer BCLs were manufactured with 4 different compositions of layer orientation. The BCL was manufactured using water based polymer-isocyanate (WBPI) adhesive. The glue spread and cold pressing time applied were 250 g/m² and 45 minutes, respectively.*

Results showed that the average density, moisture content, thickness swelling, and width expansion of BCL were 0.79 g/cm³, 12.60%, 2.38%, and 1.13%, respectively. No delamination occurred in all samples using WBPI adhesive, which indicating high bonding quality. The average bonding strength (dry test) of BCL was 70.4 kg/cm². The physical and mechanical properties of BCL were significantly affected by layer orientation composition. The mechanical properties of BCL decreased as the number of cross-layer increased in the BCL structure. On the contrary, the present of cross-layer in BCL structure increased dimensional stability of the produced BCL.

Keywords: Bamboo composite lumber, layer orientation, bonding quality, physical and mechanical properties

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi arah lapisan terhadap sifat papan bambu komposit (PBK). Jenis bambu yang digunakan adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) berumur sekitar 4 tahun yang diperoleh dari tanaman rakyat di Jawa Barat. Bilah bambu andong yang digunakan untuk membuat PBK diberi perlakuan pendahuluan dengan jalan direndam dalam larutan boron 7% selama 2 jam. Produk PBK 5 lapis dibuat dengan 4 macam variasi komposisi arah lapisan. Bambu lamina dibuat dengan menggunakan perekat isosianat *water based polymer-isocyanate* (WBPI) dengan berat labur perekat 250 g/m² permukaan, dikempa dingin dengan lama pengempaan 45 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan, kadar air, pengembangan tebal dan pengembangan lebar PBK berturut-turut adalah 0,79g/cm³, 12,60%, 2,38% dan 1,13%. Kualitas perekatan PBK yang dibuat dengan perekat isosianat (WBPI) cukup baik yang ditunjukkan oleh tidak terjadinya delaminasi pada semua contoh uji untuk pengujian delaminasi. Keteguhan rekat rata-rata (uji

*) Tulisan merupakan bagian dari Disertasi program doktor pada Fakultas Kehutanan IPB

kering) PBK yang dibuat dari bambu andong dengan perekat isosianat adalah $70,4 \text{ kg/cm}^2$. Sifat fisis dan mekanis PBK sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan penyusun PBK. Sifat mekanis PBK menurun dengan meningkatnya jumlah lapisan silang dalam komposisi lapisan penyusun PBK. Sebaliknya keberadaan lapisan silang dalam komposisi lapisan penyusun PBK meningkatkan kestabilan dimensi PBK yang dihasilkan.

Kata kunci: Papan bambu komposit, arah lapisan, perekat isosianat, kualitas perekatan, sifat fisis dan mekanis

I. PENDAHULUAN

Salah satu upaya untuk mengatasi kekurangan pasokan kayu pertukangan berkualitas adalah dengan memanfaatkan bahan berlignoselulosa selain kayu, antara lain adalah bambu sebagai substitusi kayu pertukangan. Untuk tujuan tersebut maka bambu yang bentuknya bulat dan berlubang harus dikonversi menjadi suatu produk yang memiliki dimensi seperti kayu pertukangan berupa papan atau balok kayu. Dengan menggunakan jenis perekat tertentu, bambu khususnya yang berdiameter besar dan dindingnya tebal dapat diolah menjadi produk perekatan berupa bambu komposit yang memiliki dimensi seperti kayu pertukangan berupa papan atau balok. Salah satu jenis bambu yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) yang banyak terdapat di daerah Jawa Barat.

Bambu komposit merupakan produk yang diperoleh dengan jalan menggabungkan beberapa elemen bambu dengan menggunakan perekat. Agar diperoleh bambu komposit dengan penampilan yang utuh (*solid*) maka elemen yang digunakan sebagai penyusun bambu komposit tersebut adalah berupa bilah bambu yang sudah diserut atau dihilangkan lapisan kulitnya baik permukaan kulit luar maupun kulit dalam. Menurut Dunky *et al.* (2002) dalam industri panel kayu atau kayu komposit perekat memegang peranan penting karena sangat menentukan kualitas produk rekatan yang dihasilkan. Kualitas perekatan dan sifat produk komposit ditentukan antara lain oleh tipe dan kualitas perekat yang digunakan. Sementara itu Sellers (2001) menyatakan bahwa dalam industri kayu komposit, persentase biaya perekat bervariasi mulai dari sangat kecil sampai 32% dari total biaya produksi

yang diperlukan untuk membuat produk komposit dalam berbagai bentuk dan jenis. Saat ini pemilihan jenis perekat yang lebih disukai dalam pembuatan produk komposit adalah yang bisa digunakan dengan waktu kempa yang lebih singkat, tahan terhadap kelembaban dan air, memiliki kinerja yang baik untuk digunakan di luar ruangan (*better outdoor performance*). Perekat isosianat (*water based polymer-isocyanate*) adalah salah satu jenis perekat yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut.

Papan bambu komposit (PBK) berupa produk laminasi yang semua elemen penyusunnya direkat dengan arah sejajar serat memiliki kecenderungan melengkung atau tidak datar untuk produk yang memiliki ukuran relatif lebar dan panjang sehingga menyulitkan dalam penggunaannya. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dalam pembuatan PBK perlu diatur komposisi arah lapisan penyusunnya. Di samping itu bilah bambu sebagai bahan dasar penyusun PBK memiliki kekuatan yang tinggi serta bersifat *fancy* karena memiliki corak penampilan serat yang bagus dan unik dengan adanya buku pada bilah tersebut. Oleh karena itu lapisan bambu yang bernilai tinggi tersebut harus ditempatkan pada lapisan luar (lapisan atas dan lapisan bawah) dengan permukaan dekat kulit luar sebagai permukaan yang diekspose yaitu sebagai muka depan (*face*) dan muka belakang (*back*). Berdasarkan hal tersebut, perlu dikembangkan PBK dengan berbagai komposisi arah lapisan tergantung dari banyaknya lapisan penyusunnya sehingga diperoleh PBK dengan kualitas yang sesuai dengan tujuan penggunaannya. Dalam tulisan ini dikemukakan hasil penelitian pengaruh komposisi arah lapisan penyusun PBK terhadap sifat fisis dan mekanis PBK yang dihasilkan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

Bambu yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) berumur sekitar 4 tahun dan diperoleh dari tanaman bambu rakyat di Jawa Barat. Perekat yang digunakan adalah perekat komersial isosianat *water based polymer-isocyanate* (WBPI) untuk kempa dingin, sedangkan bahan pengawet yang digunakan adalah larutan boron (boraks dan asam borat).

B. Metode

1. Pembuatan bilah bambu

Bambu yang digunakan untuk penelitian dipotong bagian pangkalnya sepanjang 50 cm untuk menghilangkan bagian batang bambu dengan ruas yang tidak beraturan. Setelah dipotong bagian pangkalnya, batang bambu tersebut dipotong-potong menjadi beberapa bagian dengan panjang 1,25 m. Bambu kemudian dibelah dengan bagian ujung (bagian yang diameternya lebih kecil) sebagai acuan lintasan pembelahan dengan menggunakan alat belah bambu. Bilah bambu hasil pembelahan selanjutnya diserut pada bagian atas dan bawah untuk mendapatkan permukaan bilah yang rata. Bilah bambu yang telah diserut kedua permukaannya kemudian diawetkan dengan larutan boron 7% dengan cara rendaman dingin selama 2 jam kemudian dikeringkan dengan sinar matahari hingga kadar airnya mencapai 12%. Bambu yang sudah kering kemudian dipotong lagi untuk mendapatkan ukuran panjang 16 cm dan 55 cm. Bilah tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam hingga kadar airnya mencapai 10%.

2. Pembuatan papan bambu tipis

Papan bambu tipis yang dibuat terdiri atas 2 macam ukuran yaitu sebagai lapisan luar dan lapisan yang sejajar memiliki ukuran 55 cm x 16 cm x 0,5 cm dibuat dengan merekatkan 8 buah bilah bambu andong dengan ukuran 55 cm x 2 cm x 0,5 cm yang sudah diawetkan dan dikeringkan kearah lebar dengan menggunakan perekat isosianat. Sedangkan papan bambu tipis yang digunakan sebagai lapisan silang memiliki ukuran 16 cm x 55 cm x 0,5 cm dibuat dengan merekatkan

28 bilah bambu dengan ukuran 16 cm x 2 cm x 0,5 cm yang sudah diawetkan dan dikeringkan kearah lebar dengan menggunakan perekat isosianat. Berat labur perekat yang digunakan adalah 250 g/m² permukaan. Bilah bambu andong yang telah dipersiapkan dilaburi perekat pada bagian tepinya kemudian direkat ke arah lebar dan dikempa dingin/ diklem dengan lama waktu pengempaan 45 menit.

3. Pembuatan PBK

PBK yang dibuat terdiri atas 5 lapis dengan target ukuran 55 cm x 16 cm x 2,5 cm. PBK dibuat dengan 4 variasi komposisi arah lapisan (A). Komposisi pertama semua lapisan disusun sejajar serat (A₁), komposisi kedua lapisan tengah atau lapisan ketiga disusun tegak lurus serat (A₂), komposisi ketiga lapisan kedua dan lapisan keempat disusun tegak lurus serat (A₃), dan komposisi keempat lapisan kedua, ketiga dan keempat disusun tegak lurus serat (A₄). Di samping itu perekatan permukaan lapisan luar dengan lapisan kedua atau lapisan keempat dibedakan antara muka dalam dengan muka luar (B₁) dan antara muka dalam dengan muka dalam (B₂). Variasi konstruksi/komposisi arah lapisan PBK tercantum pada Gambar 1. Bahan PBK yang telah disiapkan sesuai dengan masing-masing perlakuan kemudian direkat menggunakan perekat isosianat dengan berat labur 250 g/m² dan dikempa dingin/diklem selama 45 menit. Untuk masing-masing perlakuan dibuat PBK sebanyak 4 buah. Papan yang sudah jadi kemudian dikondisikan atau dibiarkan dalam ruangan dengan suhu dan kelembaban sama dengan kondisi lingkungan sekitarnya selama minimum 1 minggu sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanisnya.

4. Pengujian sifat fisis dan mekanis

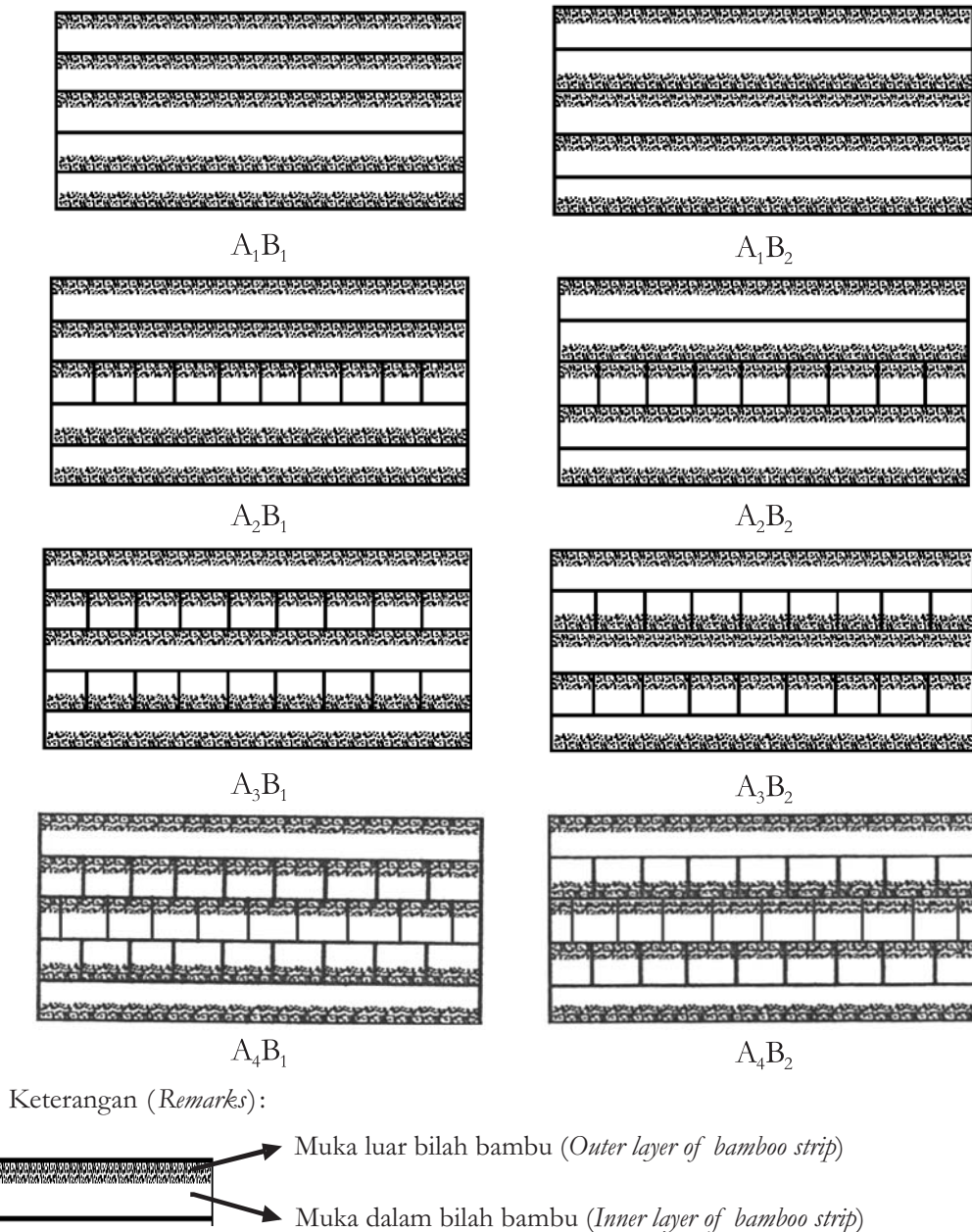
Pengujian sifat fisis PBK meliputi kadar air, kerapatan, pengembangan tebal, dan pengembangan lebar dilakukan menurut Standar Amerika (ASTM D 1037-93, ASTM, 1995a) dengan beberapa modifikasi, sedangkan pengujian keteguhan tekan PBK dilakukan menurut Standar Amerika (ASTM D 3501- 94, ASTM, 1995b) dengan modifikasi. Pengujian kekerasan dilakukan menurut Standar Amerika (ASTM D 143 - 94, ASTM, 1995c). Pengujian delaminasi, keteguhan rekat dengan uji geser blok dan keteguhan lentur dilakukan menurut Standar

Jepang untuk kayu lamina (JPIC, 2003a). Pengujian keteguhan rekat PBK dilakukan dalam kondisi kering. Hasil pengujian sifat mekanis PBK dibandingkan dengan klasifikasi kelas kuat kayu Indonesia (Oey, 1964) untuk mengetahui kelas kekuatan PBK yang dihasilkan.

C. Analisis Data

Dari hasil pengujian sifat fisis dan mekanis PBK kemudian dianalisis secara statistik dengan menggunakan rancangan acak lengkap dengan

percobaan faktorial 4 x 2. Faktor pertama komposisi arah lapisan (A) yang terdiri atas 4 taraf yaitu semuanya sejajar serat (A_1), lapisan ketiga tegak lurus serat (A_2), lapisan kedua dan lapisan keempat tegak lurus serat (A_3), dan lapisan kedua, ketiga dan keempat tegak lurus serat (A_4). Faktor kedua perbedaan muka yang direkat antara lapisan luar dengan lapisan kedua atau lapisan keempat (B) yang terdiri atas 2 taraf yaitu perekatan antara muka dalam dengan muka luar (B_1) dan perekatan antara muka dalam dengan muka dalam (B_2). Banyaknya ulangan 4 papan.



Gambar 1. Komposisi arah lapisan papan bambu komposit

Figure 1. Layer orientation compositions of bamboo composites lumber

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisis dan Kualitas Perekatan

Nilai rata-rata hasil pengujian sifat fisis dan kualitas perekatan PBK dengan berbagai komposisi arah lapisan tercantum dalam Tabel 1.

Keragaan PBK hasil penelitian ini disajikan pada Gambar 2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat terhadap sifat fisis dan kualitas perekatan PBK dilakukan analisa keragaman dan hasilnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 1. Sifat fisis dan kualitas perekatan papan bambu komposit
Table 1. Physical and bonding quality of bamboo composites lumber

| Sifat (<i>Properties</i>) | Kombinasi muka bilah yang direkat (<i>Combination of the glued sides</i>) | Komposisi arah lapisan (<i>Layer orientation compositions</i>) | | | |
|---|---|--|---------------|--------------|--------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| Kadar air (<i>Moisture content</i>), % | B1 | 12,81 | 12,52 | 12,69 | 12,51 |
| | B2 | 12,27 | 12,94 | 12,76 | 12,63 |
| Kerapatan (<i>Density</i>), g/cm ³ | B1 | 0,78 | 0,79 | 0,79 | 0,78 |
| | B2 | 0,79 | 0,80 | 0,80 | 0,78 |
| Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling</i>), % | B1 | 1,80 | 2,59 | 2,18 | 2,76 |
| | B2 | 2,41 | 2,67 | 1,92 | 2,75 |
| Pengembangan lebar (<i>Width expansion</i>), % | B1 | 1,54 | 1,17 | 0,38 | 0,37 |
| | B2 | 1,50 | 1,11 | 0,46 | 0,42 |
| Keteguhan rekat uji kering (<i>Dry test bonding strength</i>), kg/cm ² | B1 | 84,9 (100) | 80,9 (100) | 57,7 (90) | 56,6 (90) |
| | B2 | 86,2 (100) | 82,4 (90) | 58,7 (95) | 56,1 (90) |
| Delaminasi (<i>Delamination</i>), % | B1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | B2 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Keterangan (*Remarks*): B1= perekatan antara muka luar dan muka dalam (*Glued between outer layer and inner layer*); B2= perekatan antara muka dalam dengan muka dalam (*Glued between both inner layers*); Angka dalam kurung adalah persentase kerusakan bambu (*Numbers in parentheses represent percentage bamboo failure*)

Kadar air rata-rata PBK hasil penelitian ini berkisar antara 12,27 - 12,94% dengan rata-rata 12,6%. Secara keseluruhan, kadar air papan yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia untuk produk kayu olahan seperti kayu lapis penggunaan umum (BSN,

2000a), venir lamina (BSN, 2000b), serta *papan sambung dan bilah sambung untuk meja* (BSN, 2000c), karena nilainya tidak lebih dari 14%, dan memenuhi persyaratan Standar Jepang untuk kayu lamina (JPIC, 2003a) dan lantai (JPIC, 2003b), karena nilainya tidak lebih dari 15%.



Penampang sisi tebal PBK
(Thickness side of BCL)



Penampang sisi lebar PBK
(Width side of BCL)

Gambar 2. Keragaan PBK dengan variasi komposisi arah lapisan

Figure 2. Performance of BCL with various layer orientation composition

Kerapatan rata-rata PBK hasil penelitian ini berkisar antara adalah 0,78 - 0,80 g/cm³ dengan rata-rata 0,79 g/cm³. Kerapatan PBK seperti halnya kerapatan produk komposit lainnya dipengaruhi oleh kerapatan atau berat jenis bahan penyusunnya, adanya perekat dan proses pengempaan. Bilah bambu andong tanpa kulit (sudah diserut kedua permukaannya) yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kerapatan rata-rata 0,73 g/cm³. Berdasarkan hasil analisa keragaman pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan PBK.

Pengembangan tebal PBK hasil penelitian ini berkisar antara 1,8 - 2,76% dengan rata-rata 2,38% (Tabel 1). Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi arah lapisan sangat berpengaruh terhadap pengembangan tebal PBK sedangkan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak memberikan berpengaruh yang nyata. Namun demikian hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh komposisi arah lapisan A1, A2 dan A3 terhadap pengembangan tebal PBK tidak berbeda nyata, sedangkan perlakuan yang berbeda nyata adalah antara A1 dengan A4, dan A3 dengan A4.

Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa PBK dengan komposisi arah lapisan A3 memiliki nilai pengembangan tebal terkecil diikuti dengan A1 dan A2, sedangkan PBK dengan komposisi arah lapisan A4 memiliki nilai pengembangan tebal terbesar. Hal ini disebabkan oleh jumlah lapisan yang menyilang pada A4 lebih banyak (3 lapis)

sedangkan yang sejajar hanya 2 lapis. Papan bambu tipis untuk lapisan silang terdiri atas 28 bilah bambu dengan panjang 16 cm yang direkat ke arah lebar sehingga terdapat 27 garis rekat. Sedangkan papan bambu tipis untuk lapisan sejajar terdiri atas 8 bilah bambu dengan panjang 55 cm yang direkat ke arah lebar sehingga terdapat 7 garis rekat. Ketidaktepatan dalam proses perekatan antar bilah bambu mengakibatkan terbentuknya celah pada garis rekat sehingga memudahkan air masuk ke bilah bambu penyusun PBK. Semakin banyak garis rekat semakin banyak juga kemungkinan terbentuknya celah, sehingga air yang masuk dan diserap oleh PBK semakin banyak pula dan mengakibatkan terjadi pengembangan tebal yang lebih besar.

Hasil penelitian Ahmad dan Kamke (2011) menunjukkan bahwa pengembangan tebal bambu komposit 7 lapis berupa *Parallel Strand Lumber* (PSL) yang dibuat dari bambu *Dendrocalamus strictus* dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 200 g/m² dan dikempa panas pada suhu 120°C selama 15 menit, adalah 2,85%. Sementara itu hasil penelitian Roh dan Ra (2009) menunjukkan bahwa produk komposit 5 lapis dengan lapisan luar venir kayu keruing dan lapisan dalam dari pelupuh (*zephyr*) bambu *Phyllostachys nigra* var. *henonis* Stapf yang dibuat dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 320 g/m² dan dikempa panas pada suhu 140°C selama 6 menit, memiliki nilai pengembangan tebal sebesar 8,7%.

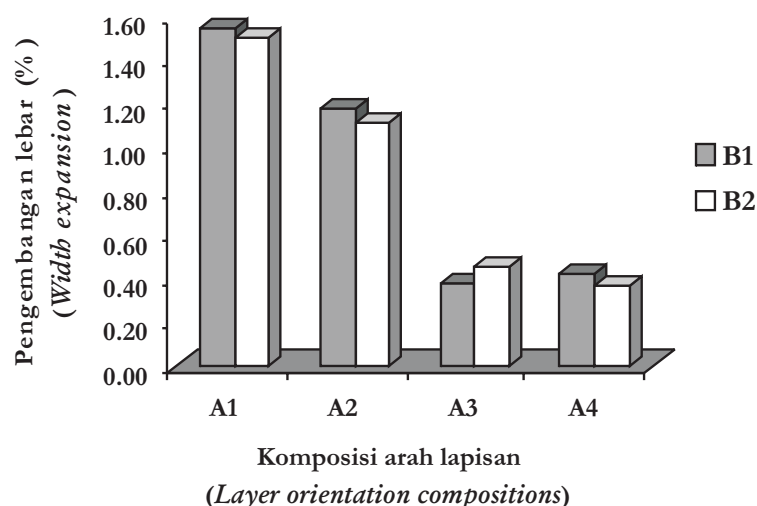
Rahman *et al.* (2012) menyatakan bahwa bambu lapis (5 lapis) yang dibuat dari sayatan

bambu *Melocanna baccifera*, direkat dengan urea formaldehida, berat labur perekat 300 g/m², dikempa panas 115°C selama 15 menit, memiliki nilai pengembangan tebal 2,3%, yang dibuat dari kombinasi sayatan bambu dengan venir kayu *Bombax ceiba* nilai pengembangan tebalnya sebesar 2,5%, sedangkan kayu lapis dari venir kayu tersebut nilai pengembangan tebalnya sebesar 3,4%. Berdasarkan uraian di atas maka dapat diketahui bahwa macam elemen penyusun papan bambu komposit sangat menentukan kestabilan dimensi papan yang dihasilkan. PBK hasil penelitian ini memiliki nilai pengembangan tebal hampir sama dengan produk bambu komposit lainnya yaitu *Parallel Strand Lumber* (PSL) dan bambu lapis.

Pengembangan lebar papan bambu komposit bervariasi antara 0,38-1,54% dengan rata-rata 0,87% (Tabel 1). Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa pengembangan lebar PBK sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan, sedangkan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak memberikan pengaruh yang nyata. PBK dengan komposisi A4 memiliki pengembangan lebar terkecil sedangkan PBK dengan komposisi A1 memiliki nilai pengembangan lebar terbesar. Hal ini terjadi karena lapisan silang dalam komposisi lapisan penyusun PBK menahan atau mengurangi terjadinya pengembangan lebar pada lapisan sejajar, sehingga secara keseluruhan pengembangan lebar yang terjadi sangat kecil.

Hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengembangan lebar PBK dengan komposisi A3 tidak berbeda nyata dengan komposisi A4, akan tetapi berbeda nyata dengan komposisi A1 dan A2. Adanya lapisan silang pada komposisi lapisan penyusun bambu komposit meningkatkan kestabilan dimensi papan bambu komposit yang dihasilkan. Kecenderungan tersebut dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 3.

Pengembangan lebar lantai bambu yang diperdagangkan di pasaran Amerika Serikat dan bambu lamina 3 lapis yang dibuat di laboratorium dengan menggunakan bambu moso berturut-turut adalah 0,12% dan 0,74% (Lee dan Liu, 2003). Papan bambu komposit dengan lapisan silang hasil penelitian ini lebih stabil dibanding dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa pengembangan lebar papan bambu lamina yang dibuat dari bilah bambu andong dan direkat dengan perekat urea formaldehida bervariasi antara 2,04-2,70% dengan rata-rata 2,38% (Sulastiningsih dan Santoso, 2012). Sementara itu hasil penelitian Ahmad (2000) menunjukkan bahwa bambu komposit 7 lapis berupa *Bamboo Parallel Strip Lumber* (BPSL) yang dibuat dari bambu *Dendrocalamus stricus* dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 200 g/m² dan dikempa panas pada suhu 120°C selama 15 menit, memiliki nilai pengembangan lebar sebesar 0,81%.



Gambar 3. Pengembangan lebar PBK dengan variasi komposisi arah lapisan dan muka bilah bambu yang direkat

Figure 3. Width expansion of BCL with various layer orientation composition and combination of the glued side bamboo strip

Hasil pengujian keteguhan rekat uji kering PBK hasil penelitian ini disajikan pada Tabel 1. Nilai keteguhan rekat uji kering PBK berkisar antara 56,1-86,2 kg/cm² dengan rata-rata 70,4 kg/cm², sedangkan persentase kerusakan bambunya berkisar antara 90-100% dengan rata-rata 90%. Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa keteguhan rekat PBK sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan sedangkan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak memberikan pengaruh yang nyata. Adanya lapisan silang pada lapisan penyusun PBK menurunkan keteguhan rekat PBK yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena pada penelitian ini, lapisan silang yang digunakan sebagai penyusun PBK memiliki 27 garis rekat yang merupakan sambungan sisi antar bilah bambu penyusun lapisan silang tersebut, sehingga memungkinkan terjadinya cacat berupa celah sebagai akibat dari ketidaksempurnaan hasil perekatan. Cacat pada lapisan silang tersebut menurunkan keteguhan rekat PBK yang dihasilkan.

Hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa komposisi arah lapisan A1 tidak berbeda nyata dengan A2, demikian juga komposisi arah lapisan A3 tidak berbeda nyata dengan A4. Namun demikian berdasarkan nilai keteguhan rekat pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa kualitas perekatan PBK hasil penelitian ini yang dibuat dengan berbagai kombinasi perlakuan komposisi arah lapisan dan muka bilah bambu yang direkat cukup baik dan memenuhi persyaratan kualitas perekatan kayu lamina menurut Standar Jepang (JAS, MAFF, *Notification* No. 234 *Glued Laminated Timber*, JPIC 2003) karena nilai keteguhan geser tekan tidak kurang dari 55 kg/cm² dan persentase kerusakan bambunya tidak kurang dari 70%.

Hua *et al.* (1998) menyatakan bahwa *Laminated Veneer Lumber* 8 lapis campuran bilah bambu moso (*Phyllostachys pubescens*) dengan venir kayu poplar yang direkat dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 200 g/m² untuk bilah bambu dan 160 g/m² untuk venir kayu, dikempa panas 140°C, 1 menit/mm, memiliki nilai keteguhan rekat berkisar antara 2,5-3,55 MPa atau 25,5-36,2 kg/cm² (lapisan luar bambu 2 lapis) dan berkisar antara 2,31-2,69 MPa atau 25,6-27,4 kg/cm² (semua lapisan dari bambu). Sedangkan Liu *et al.* (1998) menyatakan bahwa bambu lamina 6 lapis yang dibuat dari bilah bambu moso

(*Phyllostachys edulis* Carr.) dengan perekat urea formaldehida, berat labur perekat 200 g/m², dikempa dingin selama 24 jam memiliki nilai keteguhan rekat sebesar 105 kg/cm².

Penilaian kualitas perekatan PBK hasil penelitian ini juga dilakukan dengan cara uji delaminasi. Berdasarkan data delaminasi pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa PBK hasil penelitian ini yang dibuat dengan berbagai perlakuan semuanya memiliki kualitas perekatan yang baik, karena tidak ada bagian yang mengelupas pada seluruh garis rekat contoh uji delaminasi PBK tersebut, yang ditunjukkan oleh nilai delaminasi = 0 cm atau 0%.

B. Sifat Mekanis

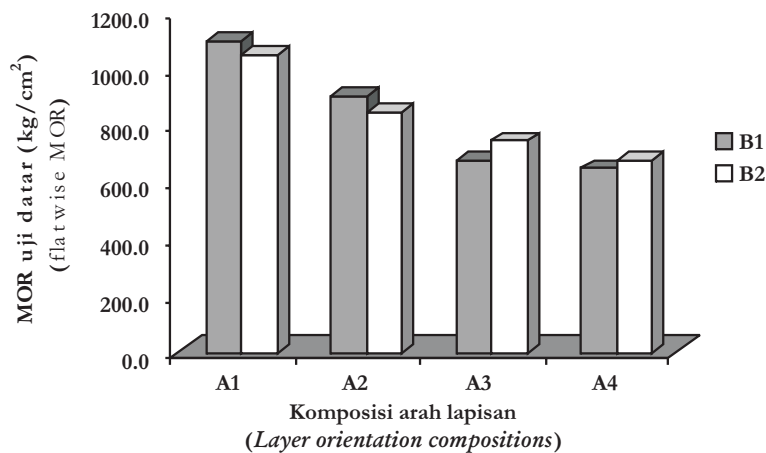
Nilai rata-rata hasil pengujian sifat mekanis PBK dengan berbagai perlakuan tercantum dalam Tabel 2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat terhadap sifat mekanis PBK yang dihasilkan, maka dilakukan analisa keragaman dan hasilnya disajikan pada Tabel 3 sedangkan hasil uji lanjutnya disajikan pada Tabel 4.

Pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa PBK dengan variasi kombinasi perlakuan komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat memiliki nilai keteguhan lentur atau modulus patah (MOR) uji datar bervariasi antara 647,2-1088,4 kg/cm² dengan rata-rata 826 kg/cm² (Gambar 4), sedangkan nilai MOR uji tegak bervariasi antara 610,6-1248,9 kg/cm² dengan rata-rata 950,1 kg/cm² (Gambar 5). Jika dibandingkan dengan klasifikasi kelas kuat kayu Indonesia (Oey, 1964), berdasarkan nilai keteguhan lenturnya maka PBK 5 lapis hasil penelitian ini setara dengan kayu kelas kuat III (500-725 kg/cm²) hingga kelas kuat I (> 1100 kg/cm²). Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa MOR PBK uji datar dan uji tegak sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan, sedangkan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak memberikan pengaruh yang nyata. Hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa MOR uji datar dari PBK dengan komposisi A3 tidak berbeda nyata dengan komposisi A4, akan tetapi berbeda nyata dengan komposisi A1 dan A2. Hal sebaliknya terjadi pada MOR uji tegak yaitu PBK dengan komposisi A1 tidak berbeda nyata dengan A2 tetapi berbeda nyata dengan komposisi A3 dan A4.

Tabel 2. Sifat mekanis papan bambu komposit
Table 2. Mechanical properties of bamboo composites lumber

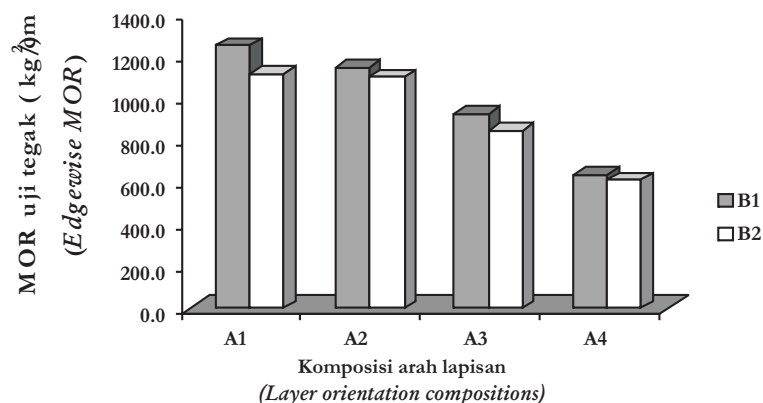
| Sifat (<i>Properties</i>) | Kombinasi muka bilah yang direkat (<i>Combination of the glued sides</i>) | Komposisi arah lapisan (<i>Layer orientation compositions</i>) | | | |
|--|--|---|--------|-------|-------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| MOR uji datar (<i>Flatwise MOR</i>), kg/cm ² | B1 | 1088,4 | 896,7 | 674,7 | 647,2 |
| | B2 | 1041,0 | 844,4 | 739,5 | 676,5 |
| MOR uji tegak (<i>Edgewise MOR</i>), kg/cm ² | B1 | 1248,9 | 1139,3 | 919,3 | 630,0 |
| | B2 | 1113,0 | 1098,2 | 841,4 | 610,6 |
| Keteguhan tekan (<i>Compression strength</i>), kg/cm ² | B1 | 616,7 | 505,0 | 399,1 | 271,9 |
| | B2 | 543,8 | 426,6 | 350,4 | 294,7 |
| Kekerasan sisi (<i>Side hardness</i>), kg/cm ² | B1 | 543,0 | 640,0 | 611,8 | 590,5 |
| | B2 | 521,0 | 511,8 | 606,0 | 662,5 |

Keterangan (*Remarks*): MOR = Modulus patah (*Modulus of rupture*); B1= Perekatan antara muka luar dan muka dalam (*Glued between outer layer and inner layer*); B2= perekatan antara muka dalam dengan muka dalam (*glued between both inner layers*)



Gambar 4. MOR uji datar PBK dengan variasi komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat

Figure 4. Flatwise MOR of BCL with various layer orientation composition and combination of the glued side bamboo strip



Gambar 5. MOR uji tegak PBK dengan variasi komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat

Figure 5. Edgewise MOR of BCL with various layer orientation composition and combination of the glued side bamboo strip

Pada Gambar 4 dan 5 dapat diketahui bahwa pengaruh komposisi arah lapisan menunjukkan kecenderungan yang sama terhadap MOR PBK uji datar dan uji tegak. Adanya lapisan silang pada lapisan penyusun PBK menurunkan nilai MOR PBK yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena pada lapisan silang terdapat banyak garis rekat yang memungkinkan terbentuknya celah sebagai akibat dari ketidaksempurnaan proses perekatan, sehingga menurunkan kekuatannya. Semakin banyak lapisan silang penyusun PBK semakin rendah nilai MOR PBK yang dihasilkan baik yang diuji secara mendatar (*flatwise*) maupun yang diuji secara tegak (*edgewise*). Kecenderungan tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Verma dan Chariar (2012), yang menunjukkan bahwa bambu komposit 5 lapis yang dibuat dari bilah bambu *Dendrocalamus strictus* dengan 3 macam komposisi arah lapisan (A: semua lapisan sejajar, B: lapisan kedua dan keempat membentuk sudut 45° terhadap lapisan di dekatnya, C: lapisan kedua dan keempat 90° atau tegak lurus terhadap lapisan di dekatnya), direkat dengan *diglycidyl ether bisphenol* dan dikempa dingin selama 24 jam, memiliki nilai MOR berturut-turut untuk masing-masing tipe bambu komposit tersebut sebesar 128,4 MPa atau 1309 kg/cm^2 (A), 68,28 MPa atau $698,1 \text{ kg/cm}^2$ (B) dan 105,74 MPa atau 1078 kg/cm^2 (C).

Hasil penelitian Ahmad dan Kamke (2011) menunjukkan bahwa *Parallel Strand Lumber* (PSL) 7 lapis yang dibuat dari *Dendrocalamus strictus* dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 200 g/m^2 dan dikempa panas 120°C selama 15 menit, memiliki nilai MOR sebesar 133 MPa atau $1355,9 \text{ kg/cm}^2$, setara dengan kayu kelas kuat I. Sedangkan hasil penelitian Nugroho dan Ando (2001) menunjukkan bahwa MOR PBK 4 lapis yang dibuat dari pelupuh bambu moso dan direkat dengan perekat berbahan dasar resorsinol bervariasi antara $639\text{--}707 \text{ kg/cm}^2$, setara dengan kayu kelas kuat III ($500\text{--}725 \text{ kg/cm}^2$).

Roh dan Ra (2009) menyatakan bahwa papan komposit 5 lapis yang dibuat dengan komposisi lapisan luar dari venir kayu keruing (*Dipterocarpus sp*) dan lapisan dalam dari 3 lapis pelupuh (*zephyr*) bambu (*Phyllostachys nigra* var. *henonis* Stapf) dan direkat dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 320 g/m^2 dan dikempa panas 140°C selama 6 menit, memiliki nilai MOR sebesar 60,4 MPa atau $615,8 \text{ kg/cm}^2$ pada arah sejajar serat

permukaan, setara dengan kayu kelas kuat III, sedangkan MOR pada arah tegak lurus serat permukaan sebesar 36,3 MPa atau $370,1 \text{ kg/cm}^2$, setara dengan kayu kelas kuat IV.

Mahdavi *et al.* (2011) menyatakan bahwa nilai MOR *Laminated Bamboo Lumber* (LBL) lebih tinggi ($107,2 \text{ MPa}$ atau $1092,9 \text{ kg/cm}^2$) dibandingkan dengan MOR *Laminated Veneer Lumber* (LVL) sebesar $93,5 \text{ MPa}$ atau $953,2 \text{ kg/cm}^2$, dan MOR *Parallel Strand Lumber* (PSL) sebesar $90,3 \text{ MPa}$ atau $920,6 \text{ kg/cm}^2$. Sementara itu hasil penelitian Paridah *et al.* (2012) menunjukkan bahwa LVL (*Laminated Veneer Lumber*) dengan jumlah lapisan 13 lapis (tebal venir 4,1 mm) dan 17 lapis (tebal venir 3,1 mm) yang dibuat dari venir kayu bintangur (*Callophyllum sp.*), perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 225 g/m^2 , dikempa dingin selama 30 menit dilanjutkan dengan kempa panas 125°C selama 30 menit, memiliki nilai MOR masing-masing sebesar 38,6 MPa atau $393,5 \text{ kg/cm}^2$ (13 lapis) dan 40,3 MPa atau $410,9 \text{ kg/cm}^2$ (17 lapis).

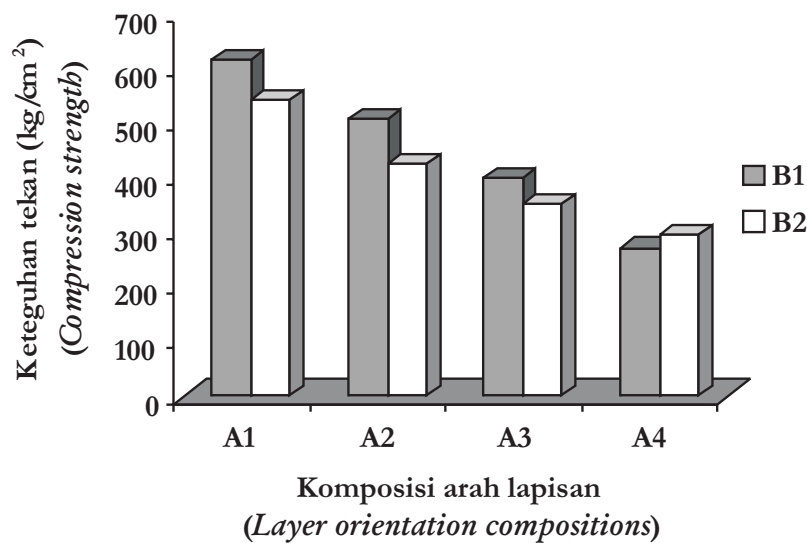
Rahman *et al.* (2012) menyatakan bahwa bambu lapis (5 lapis) yang dibuat dari sayatan bambu *Melocanna baccifera*, direkat dengan urea formaldehida, berat labur perekat 300 g/m^2 , dikempa panas 115°C selama 15 menit, memiliki nilai MOR sebesar 38,58 MPa atau $393,3 \text{ kg/cm}^2$, yang dibuat dari kombinasi sayatan bambu dengan venir kayu *Bombax ceiba* nilai MORnya sebesar 39,5 MPa atau $402,7 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan kayu lapis dari venir kayu tersebut nilai MORnya sebesar 32,28 MPa atau $329,1 \text{ kg/cm}^2$. Berdasarkan uraian di atas dapat diketahui bahwa nilai MOR PBK dengan berbagai macam perlakuan lebih tinggi dibandingkan dengan MOR produk komposit lainnya.

Keteguhan tekan PBK bervariasi antara $271,9\text{--}616,7 \text{ kg/cm}^2$ dengan rata-rata 426 kg/cm^2 (Tabel 2). Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa keteguhan tekan PBK sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat. Hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh komposisi arah lapisan terhadap keteguhan tekan PBK berbeda antara satu perlakuan dengan perlakuan lainnya. Semakin banyak lapisan silang penyusun PBK semakin rendah keteguhan tekan PBK yang dihasilkan. Kecenderungan tersebut dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 6.

Tabel 3. Nilai F hitung pengaruh perlakuan terhadap sifat papan bambu komposit
Table 3. Calculated F values of treatment effects on bamboo composites lumber properties

| Sifat (<i>Properties</i>) | F hitung ($F_{\text{calculated}}$) | | |
|--|---|--------------------|--------------------|
| | Sumber keragaman (<i>Source of variation</i>) | | |
| | A | B | Interaksi AB |
| Kerapatan (<i>Density</i>) | 1,34 ^{tn} | 3,39 ^{tn} | 0,31 ^{tn} |
| Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling</i>) | 4,87** | 0,42 ^{tn} | 1,24 ^{tn} |
| Pengembangan lebar (<i>Width expansion</i>) | 102,63** | 0,13 ^{tn} | 0,32 ^{tn} |
| Keteguhan rekat (<i>Bonding strength</i>) | 26,61** | 0,07 ^{tn} | 0,02 ^{tn} |
| MOR uji datar (<i>Flatwise MOR</i>) | 63,29** | 0,00 ^{tn} | 1,59 ^{tn} |
| MOR uji tegak (<i>Edgewise MOR</i>) | 49,59** | 3,58 ^{tn} | 0,49 ^{tn} |
| Keteguhan tekan (<i>Compression strength</i>) | 154,43** | 18,79** | 5,18** |
| Kekerasan sisi (<i>Side Hardness</i>) | 3,39* | 0,87 ^{tn} | 3,33* |

Keterangan (*Remarks*) : MOR = modulus patah (*modulus of rupture*); A= Komposisi arah lapisan (*layer orientation compositions*); B= Kombinasi muka bilah bambu yang direkat (*Combination of the glued side bamboo strip*); tn = Tidak berpengaruh nyata (*Not significant*); * = Berpengaruh nyata (*Significant effect*); ** = Berpengaruh sangat nyata (*Highly significant effect*)



Gambar 6. Keteguhan tekan PBK dengan variasi komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat
Figure 6. Compression strength of BCL with various layer orientation composition and combination of the glued side bamboo strip

Pada Gambar 6 dapat dilihat juga bahwa perekatan muka luar dengan muka dalam antara lapisan luar dengan lapisan didekatnya (B1) menghasilkan PBK yang memiliki keteguhan tekan lebih tinggi dibandingkan dengan PBK yang dibuat dengan kombinasi perekatan muka dalam dengan muka dalam antara lapisan luar dengan lapisan didekatnya (B2). Hal ini terjadi karena muka luar bilah bambu memiliki kerapatan dan jumlah ikatan pembuluh yang lebih tinggi dibanding muka dalam sehingga muka luar memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan muka dalam. Oleh karena itu PBK yang dibuat dengan kombinasi perekatan muka luar dengan muka dalam antara lapisan luar dengan lapisan didekatnya (B1) memiliki keteguhan tekan yang lebih tinggi dibanding dengan PBK yang dibuat dengan kombinasi perekatan muka dalam dengan muka dalam antara lapisan luar dengan lapisan didekatnya (B2). Jika dibandingkan dengan klasifikasi kelas kuat kayu Indonesia (Oey, 1964) maka PBK dengan komposisi arah lapisan A1 dan A2 setara dengan kayu kelas kuat II, komposisi arah lapisan A3 setara dengan kayu kelas kuat III, dan komposisi arah lapisan A4 setara dengan kayu kelas kuat IV.

Bamboo Parallel Strip Lumber (BPSL) 7 lapis yang dibuat dari *Dendrocalamus strictus* dengan perekat fenol formaldehida, berat labur perekat 200 g/m² dan dikempa panas 120°C selama 15 menit, memiliki keteguhan tekan sebesar 66,3 MPa atau 676 kg/cm², setara dengan kayu kelas kuat I (Ahmad 2000). Papan bambu lamina (*Laminated bamboo lumber* atau LBL) yang dibuat dari susunan bilah bambu secara mendatar atau *horizontal* memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 87,9 MPa atau 896,1 kg/cm², sedangkan yang bilahnya disusun secara tegak atau *vertical* memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 84,7 MPa atau 863,5 kg/cm², kedua macam LBL tersebut setara dengan kayu kelas kuat I (Rittironk dan Elneiri 2008).

Hasil penelitian Sulastiningsih dan Nurwati (2009) menunjukkan bahwa keteguhan tekan papan bambu lamina (PBL) 3 lapis dan 5 lapis yang dibuat dari bilah bambu tali (*Gigantochloa apus*), direkat dengan tanin resorsinol formaldehida dan dicampur ekstender 20%, berat labur 170 g/m² serta dikempa dingin selama 4 jam, memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 564,8 kg/cm² (3 lapis)

dan 518,8 kg/cm² (5 lapis), sedangkan yang dibuat dari bilah bambu mayan (*Gigantochloa robusta*) memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 572 kg/cm² (3 lapis) dan 503,2 kg/cm² (5 lapis). PBL tersebut semuanya setara dengan kayu kelas kuat II. Bambu komposit 5 lapis (semuanya sejajar serat) yang dibuat dari bilah bambu *Dendrocalamus strictus* menggunakan perekat *diglycidyl ether of bisphenol*, memiliki nilai keteguhan tekan rata-rata sebesar 80 MPa atau 815,6 kg/cm² setara dengan kayu kelas kuat I (Verma dan Chariar 2012).

Salah satu kegunaan papan bambu komposit adalah untuk lantai. Oleh karena itu sifat yang sangat penting untuk diketahui sebagai bahan untuk lantai adalah sifat kekerasannya. Hasil pengujian sifat mekanis pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kekerasan sisi rata-rata PBK pada penelitian ini bervariasi antara 511,8-662,5 kg/cm² dengan rata-rata 585,8 kg/cm². Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kekerasan sisi PBK sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan sedangkan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak memberikan pengaruh yang nyata. Hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa kekerasan sisi dari PBK dengan komposisi A3 tidak berbeda nyata dengan komposisi A4, akan tetapi berbeda nyata dengan komposisi A1 dan A2. Adanya lapisan silang pada komposisi lapisan penyusun PBK meningkatkan nilai kekerasan sisi PBK yang dihasilkan. PBK yang semua lapisan penyusunnya sejajar serat memiliki kekerasan sisi lebih rendah dibanding PBK lainnya.

Kekerasan sisi PBK hasil penelitian ini lebih tinggi dibanding kekerasan sisi beberapa jenis kayu yang biasa digunakan untuk lantai. Kekerasan sisi kayu jati dalam kondisi kering udara adalah 428 kg/cm², kekerasan sisi kayu mahoni 271-392 kg/cm² (Martawijaya *et al.* 1981), kekerasan sisi kayu merbau adalah 587 kg/cm², dan kekerasan sisi kayu nyatoh adalah 302 kg/cm² (Martawijaya *et al.* 1989). Sementara itu kekerasan sisi lantai bambu yang diperdagangkan di pasaran Amerika Serikat dan bambu lamina 3 lapis yang dibuat di laboratorium dengan menggunakan bambu moso dan permukaannya diberi lapisan bahan finishing, berturut-turut adalah 8558 N atau 872,7 kgf dan 5465 N atau 557,3 kgf (Lee dan Liu, 2003). Berdasarkan informasi yang telah

diuraikan di atas maka PBK hasil penelitian ini dengan berbagai variasi komposisi arah lapisan sangat sesuai digunakan sebagai bahan untuk lantai.

IV. KESIMPULAN

Papan bambu komposit dari bilah bambu andong yang dibuat menggunakan perekat isosianat dengan variasi komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat, memiliki nilai rata-rata kadar air 12,6%, kerapatan 0,79 g/cm³, kualitas perekatan sangat baik, serta kestabilan dimensi yang cukup baik.

Papan bambu komposit dari bambu andong yang dibuat menggunakan perekat isosianat dengan variasi komposisi arah lapisan dan kombinasi muka bilah bambu yang direkat memiliki sifat keteguhan lentur (MOR) bervariasi dan setara dengan kayu kelas kuat III hingga I, demikian juga sifat keteguhan tekannya bervariasi dan setara dengan kayu kelas kuat IV hingga II.

Keteguhan lentur, keteguhan tekan, dan kestabilan dimensi papan bambu komposit sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan. Adanya lapisan silang pada komposisi lapisan penyusun papan bambu komposit menurunkan keteguhan lentur dan keteguhan tekan tetapi meningkatkan kestabilan dimensi papan bambu komposit yang dihasilkan.

Papan bambu komposit hasil penelitian ini memiliki kekerasan sisi lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan sisi kayu jati, sehingga sangat baik digunakan sebagai bahan untuk lantai. Kekerasan sisi papan bambu komposit sangat dipengaruhi oleh komposisi arah lapisan sedangkan kombinasi muka bilah bambu yang direkat tidak memberikan pengaruh yang nyata. Papan bambu komposit yang semua lapisan penyusunnya sejajar serat memiliki kekerasan sisi lebih rendah dibandingkan dengan papan bambu komposit lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M., & Kamke, F.A. (2011). Properties of parallel strand lumber from Calcutta bamboo (*Dendrocalamus strictus*). *Wood Sci Technol*, 45, 63-72.

Ahmad, M. (2000). *Analysis of Calcutta Bamboo for Structural Composites Materials*. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg. Virginia.

ASTM. (1995a). *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Based Fiber and Particle Panel Materials*. ASTM D 1037-93. Philadelphia : Annual Book of ASTM Standard.

ASTM. (1995b). *Standard Test Methods for Wood-Based Structural Panels in Compression*. ASTM D 3501-94. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standard.

ASTM. (1995c). *Standard Methods of Testing Small Clear Specimen of Timber*. ASTM D 143-94. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standard.

BSN. (2000a). *Kayu lapis penggunaan umum*. Standar Nasional Indonesia SNI 01-5008.2-2000. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

BSN. (2000b). *Venir lamina*. Standar Nasional Indonesia SNI 01-6240-2000. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

BSN. (2000c). *Papan sambung dan bilah sambung untuk meja*. Standar Nasional Indonesia SNI 01-6243-2. 2000. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Dunky, M., Pizzi, T., & Leemput, M.V. (2002). Wood Adhesion and Glued Products. Working Group1: *Wood Adhesives*. State of the Art-report. COST Action E13.

Hua, Y., Zhou, D., Hong, Z., & Chen, G. (1998). Property of Laminated Veneer Lumber Consisting of Mixed Bamboo and Poplar. Dalam C.Y. Hse, S.J. Branham & C. Chou (Penyunt.). *Adhesive Technology and Bonded Tropical Wood Products*. TFRI Extension Series No. 96. Taipei: Taiwan Forestry Research Institute.

JPIC. (2003a). *Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber*. JAS, MAFF, Notification No. 234: 2003. Tokyo: Japan Plywood Inspection Corporation.

JPIC. (2003b). *Japanese Agricultural Standard for Flooring*. JAS, MAFF, Notification No. 240: 2003. Tokyo: Japan Plywood Inspection Corporation.

- Lee, A.W.C., & Liu Y. (2003). Selected Physical Properties of Commercial Bamboo Flooring. *Forest Products Journal* 53(6), 23-26.
- Liu, C.T., Li, W.J., & Wang, Y.H. (1998). Properties and Utilization of Laminated Bamboos. Dalam C.Y. Hse, S.J. Branham & C. Chou (Penyunt.). *Adhesive Technology and Bonded Tropical Wood Products*. TFRI Extension Series No. 96 . Taipei: Taiwan Forestry Research Institute.
- Mahdavi, M., Clouston, P.L., & Arwade, S.R. (2011). Development of Laminated Bamboo Lumber: Review of Processing, Performance, and Economical Considerations. *Journal of Materials in Civil Engineering* 23(7), 1036-1042.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Kadir, K., & Prawira, S.A. (1981). *Atlas Kayu Indonesia Jilid I*. Bogor. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Mandang, Y.I., Prawira, S.A., & Kadir, K. (1989). *Atlas Kayu Indonesia Jilid II*. Bogor. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Nugroho, N., & Ando, N. (2001). Development of Structural Composite Products made from Bamboo II: Fundamental Properties of Laminated Bamboo Board. *Journal of Wood Science* 47(3), 237-242.
- Oey, D.S. (1964). Berat Jenis dari Jenis-Jenis Kayu Indonesia dan Pengertian Beratnya Kayu untuk Keperluan Praktek. *Pengumuman LPHH No 1*. Bogor: Lembaga Penelitian Hasil Hutan.
- Rahman, K.S., Alam, N.D.M., & Islam, N.Md. (2012). Some Physical and Mechanical Properties of Bamboo Mat-Wood Veneer Plywood. *ISCA Journal of Biological Sciences* 1(2), 61-64.
- Rittironk, S. & Elnieiri, M. (2008). Investigating Laminated Bamboo Lumber as an Alternate to Wood Lumber in Residential Construction in the United States. Dalam Y. Xiao, M. Inoue & S.K. Paudel (Penyunt.), *Proceedings of First International Conference on Modern Bamboo Structures (ICBS-2007)*, Changsa, China, 28-30 October 2007.
- Roh, J.K. & Ra, J.B. (2009). Effect of moisture content and density on the mechanical properties of venner-bamboo zephyr composites. *Forest Products Journal* 59(3), 75-78.
- Sellers, T. Jr. (2001). Wood Adhesive Innovation and Applications in North America. *Forest Products Journal* 51(6), 12-22.
- Sulastiningsih, I.M., & Nurwati. (2009). Physical and Mechanical Properties of Laminated Bamboo Board. *Journal of Tropical Forest Science* 21(3), 246-251.
- Sulastiningsih, I.M., & Santoso, A. (2012). Pengaruh Jenis Bambu, Waktu Kempa dan Perlakuan Pendahuluan Bilah Bambu terhadap Sifat Papan Bambu Lamina. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 30(3), 198-206.
- Verma, C.D., & Chariar, V.M. (2012). Development of layered laminate bamboo composite and their mechanical properties. *Composites: Part B* 43, 1063-1069.